

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Evaluación de la eficiencia de remoción del arsénico en agua subterránea  
utilizando harina de Totorá Nativa (*Schoenoplectus californicus*) en la zona rural de  
Coata, región Puno**

Autor(es):

Alex Sander Avila Ñaupá

Vianey Rosa Alata Ccori

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

**Lima, julio de 2020**

## ANEXO 07 DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Evaluación de la eficiencia de remoción del arsénico en agua subterránea utilizando harina de Totorá Nativa (*Schoenoplectus californicus*) en la zona rural de Coata, región Puno”** constituye la memoria que presenta los estudiantes **Vianey Rosa Alata Ccori y Alex Sander Avila Ñaupá** para aspirar al grado académico de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 20 días del año 2020.



---

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

En Lima, Naña, Villa Unión, a.....30..... día(s) del mes de.....julio.....del año ..2020.. siendo las...09:20...horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

.....Ing. Orlando Alan Poma Porras.....,el(la) secretario(a):

.....Mg. David Andres Sumire Quenta..... y los demás miembros:

.....Ing. Josue Isac Carrillo Espinoza, Mg. Javier Raúl Condor Huamán.....

.....y el(la) asesor(a) ..... Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: ..... Evaluación de la eficiencia de remoción del arsénico en agua subterránea utilizando harina de Totorita Nativa (*Schoenoplectus californicus*) en la zona rural de Coata, región Puno.....

.....de los (las) egresados (as): a) Vianey Rosa Alata Ccori.....

.....b) Alex Sander Avila Naupa.....

.....conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

.....Ingeniería Ambiental.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.....a los.....candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.....los.....candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Vianey Rosa Alata Ccori.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente


Candidato/a (b): Alex Sander Avila Naupa.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó.....a los.....candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a


  
\_\_\_\_\_  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

# **Evaluación de la eficiencia de remoción del arsénico en agua subterránea utilizando harina de Totora Nativa (*Schoenoplectus californicus*) en la zona rural de Coata, región Puno**

## **Evaluation of the efficiency of arsenic removal in groundwater using native cattail flour (*Schoenoplectus californicus*) in the rural area of Coata, Puno region**

Avila Ñaupá Alex Sander<sup>a</sup>, Alata Ccori Vianey Rosa<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Lima-Perú.

---

### **Resumen**

El objetivo de este artículo es presentar una revisión de estudios sobre la evaluación de eficiencia de remoción del arsénico, con harinas de origen vegetal en filtros por capas y el diseño del filtro con harina de totora. Los estudios revisados demuestran que las harinas de origen vegetal tienen alta eficiencia de remoción del As en aguas. Por consiguiente, se estima que la harina de totora (*Schoenoplectus californicus*) puede remover el arsénico en aguas subterráneas, ya que esta especie contiene composiciones químicas con capacidad de adsorción del arsénico. Por ende, se presenta el diseño de un filtro por capas: grava, arena y como principal medio filtrante, la harina de totora a concentraciones diferentes. En conclusión, la harina de totora como medio filtrante, es una nueva propuesta para la remoción del arsénico en agua subterránea, puesto que, es de fácil operación, bajo costo y disponibilidad suficiente de totora en zona rural.

*Palabras Claves:* Remoción, arsénico, harina de totora.

### **Abstract**

The objective of this article is to present a review of studies on the evaluation of the efficiency of removal of arsenic, with flours of vegetable origin in layered filters and the design of the filter with reeds. The reviewed studies show that the flours of vegetal origin have high efficiency of removal of the As in waters. Therefore, it is estimated that cattail meal (*Schoenoplectus californicus*) can remove arsenic in groundwater, since this species contains chemical compositions with adsorption capacity of arsenic. Therefore, the design of a layered filter is presented: gravel, sand and as the main filter medium, reed meal at different concentrations. In conclusion, reed meal as a filter medium, is a new proposal for the removal of arsenic in groundwater, since it is easy to operate, low cost and sufficient availability of reed in rural areas.

*Key Words:* Removal, arsenic, cattail meal.

---

*Autor de correspondencia:*

<sup>a</sup>E.P. Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, E-mail: alexavila@upeu.edu.pe  
Tel: +51-955992435

<sup>b</sup>E.P. Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, E-mail: vianey.ac@upeu.edu.pe  
Tel: +51-921287441

## 1. Introducción

El agua dulce en el mundo representa el 2.5% del total de agua dulce en el mundo casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo, y alrededor de 30% son agua subterráneas y se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano (CFCE, 2017). El 0.77% del agua dulce está disponible en cuerpos de agua superficiales, lagos, ríos, humedad atmosférica y humedad del suelo (Graziano, 2013).

No obstante, el uso de agua subterránea ha incrementado durante los últimos cincuenta años ya que muchas personas dependen de estas como suministro de agua potable con el fin de garantizar la seguridad alimentaria y la vida sustentable, puesto que tiene alta confiabilidad en tiempos de estiaje (UNESCO, 2019). Cabe mencionar que la preferencia del suministro de agua subterránea es porque el cuidado y control de calidad del agua es muy limitada en la zona urbana e insignificante en la zona rural (OMS, 2004).

En Perú, actualmente el agua está siendo contaminada continuamente por diversas actividades. Uno de las problemáticas que más aqueja es la contaminación de las aguas subterráneas ya que suele afectar a grandes volúmenes de agua y resulta difícil de detectar y combatir (CFCE, 2017).

En la región Puno, en los distritos de Juliaca y Caracoto existen problemas de contaminación de aguas en el cual se determinaron que el 96% de las muestras de agua subterránea contienen altos niveles de arsénico excediendo el límite instituido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014). Asimismo, en el distrito de Coata, las aguas subterráneas (pozos) de consumo humano registran altas concentraciones de arsénico, que exceden los Límites Máximos Permisibles D.S N° 031-2010-SA, causando múltiples enfermedades a la población más cercana a la afluencia del Río Coata (INDECI, 2019). Según el informe de ANA (2020), las posibles causas de la existencia de elevadas concentraciones de As en agua subterránea (pozos) de Coata, son de condiciones naturales (aguas de lluvia), origen antropogénico como la actividad minera y fundición refinado (ANA, 2020; Orozco Barrenetxea et al., 2011).

El interés por descontaminar el agua contaminada con As en el lago Titicaca y pozos subterráneos de Puno, ha conducido a la utilización de plantas naturales para la remoción de metales pesados (As) mediante procesos de bioabsorción y bioadsorción, una de ellas es el uso de la totora, la importancia de usar esta especie es que no solamente acumula contaminantes cuando está vegete, sino que se ha confirmado que los tejidos de seco puede ser altamente eficiente en la retención de metales en el agua, actuando como resinas de intercambio (Verma, Tewari, & Rai, 2008; Abdel-ghani, Hegazy, El-chaghaby, & Lima, 2009). Por otro lado, el interés de remover el As en agua de pozos subterráneos, es porque este metal impacta negativamente a la flora, fauna y la salud humana, una de los síntomas en las plantas es la reducción de su crecimiento y por ingestión en humanos, son la intoxicación aguda (daño gastrointestinal severa) y crónica que puede llevar hasta la muerte (MINEM, 1994).

El objetivo del artículo es presentar una revisión de estudios sobre la evaluación de eficiencia de remoción del arsénico, con harinas de origen vegetal en filtros por capas y además, presentar el diseño del filtro con harina de totora, con la finalidad de asegurar el suministro actual y de las generaciones futuras es muy importante proteger los acuíferos, así prever la afectación de un acuífero y el resto del ciclo hidrológico (CFCE, 2017).

## 2. Arsénico en el agua

El arsénico es un elemento con número atómico de 33 y 74.92 de masa atómica, se encuentra en el grupo 15(VA) de la tabla periódica y en la corteza terrestre es el vigésimo elemento más abundante (Caballero, 2012). Muy pocas veces se encuentra libre en el ambiente natural, su ruta principal de dispersión es el agua. En el agua subterránea el arsénico de origen natural está ligado a los procesos de oxidación-reducción que afectan al As y a la litología de materiales geológicos que conforman el acuífero (Smedley & Kinniburgh, 2002). Por otro lado, los lixiviados de los residuos mineros son una de las causas de los factores antropogénicos (Armienta et al., 2012) y el uso excesivo de plaguicidas (ATSDR, 2007).

Los acuíferos destinados para el consumo humano se han encontrado con altas concentraciones de As que sobrepasan los límites establecidos por las agencias ambientales o requeridos por la legislación en diversas regiones del mundo (Mandal & Suzuki, 2002).

### 2.1. Toxicidad del arsénico

El arsénico (III) es más letal que el arsénico (V). Debido, a que el  $As^{3+}$  es 60 veces más tóxico que el estado oxidado  $As^{5+}$  y los componentes inorgánicos son aproximadamente 100 veces más tóxicos que los componentes orgánicos del arsénico (Jain & Ali, 2000). En el agua, las concentraciones de As son bajas en aguas superficiales y más elevadas en aguas subterráneas, principalmente en sitios con depósitos de roca volcánica o de minerales abundantes en As (Bundschuh, Carrera, & Litter, 2008).

El arsénico es un tóxico acumulativo que afecta a casi todos los sistemas, tejidos y órganos. Por lo tanto, si la dosis de arsénico es elevada y en un corto tiempo, la exposición a arsénico puede ser aguda, o crónica, si la dosis de arsénico es baja y en un largo tiempo (García, 2013)

## 3. Adsorción

Se conoce como adsorción al proceso por el que las partículas extrañas se concentran sobre la superficie de una fase sólida y/o medio filtrante (Ngai et al., 2006). Por eso, se considera como fenómeno subsuperficial. La sustancia Adsorbato presente en una fase líquido o gas se concentra en la superficie y la sustancia “adsorbente” es la fase sólida, donde las moléculas se concentran en una capa interfacial (Dąbrowski, 2001).

### 3.1. Tipos de adsorción

Según Pino (2012), existen dos tipos de adsorción, la adsorción física y adsorción química, mientras que (Rojas et al. 2012) respalda que hay tres tipos de adsorción (física, química e intercambio iónico), debido a que la adsorción cae completa dentro del intercambio iónico y muy a menudo lo nombran como “intercambio catiónico”. En la siguiente *Tabla 1*, se observa las diferencias de adsorción física y química.

Tabla 1. *Diferencias entre Adsorción Física y Química*

Fisisorción	Quimisorción
<ul style="list-style-type: none"><li>• Enlaces débiles. Interacciones de van der Waals.</li><li>• Entalpía de adsorción está entre los 10 y 20 kJ/mol.</li><li>• Al incrementar la temperatura, se reduce la adsorción. Es un paso cambiante.</li><li>• La adsorción toma lugar en cualquier punto del adsorbente.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Enlaces fuertes de corto alcance</li><li>• Entalpía de adsorción se encuentra entre 40 y 400 kJ/mol.</li><li>• El aumento de la temperatura puede favorecer la adsorción. Es un proceso irreversible.</li><li>• La adsorción se lleva en puntos determinados de la superficie.</li></ul>

- Se lleva a cabo en una monocapa o en multicapa.
- No existen reacciones superficiales tales como de neutralización, descomposición, etc.
- El adsorbato cuida su identidad.
- La adsorción se realiza en una monocapa.
- Podría darse una reacción superficial (disociación, catálisis, reconstrucción, etc.)
- El adsorbato cambia su estructura química respecto al precursor.

---

*Fuente:* Recuperado de (Paredes, 2011)

### 3.2. Factores que intervienen en la adsorción

Los factores que cumplen un rol muy importante en la adsorción en sustancia líquida son muchos. Sin embargo, se especifican a continuación, los más principales:

- **Superficie específica.** Cabe resaltar, que la adsorción es un fenómeno sub-superficial, mientras mayor sea el área superficial del adsorbente, se obtendrá mayor retención del adsorbato. Por ende, los medios filtrantes con biomasa, zeolita, etc. Por lo general son sólidos porosos (Galindo, Luis, & Turiel, 2005).

- **Naturaleza del adsorbente.** Las propiedades texturales, como son: la superficie específica, el volumen de poros y tamaño de partícula, además, la naturaleza química de la superficie del adsorbente, influirán considerablemente en la cantidad general de adsorbato retenida (Rao, Sood, Subrahmanyam, & Govindaraj, 2009).

- **Naturaleza del adsorbato.** Es importante tener en cuenta factores tales como la solubilidad del adsorbato, su estructura química, o su naturaleza iónica, dentro del proceso de adsorción. Es así, cuando menor solubilidad tenga el adsorbato, el grado de adsorción será mayor (Hiura, Miyazaki, & Kazuhito Tsukagoshi, 2010).

- **Temperatura.** Teniendo en consideración que la adsorción es un fenómeno exotérmico, existe un aumento en la temperatura y esto provoca una disminución en la capacidad de adsorción. Sin embargo, la entalpía de adsorción suele ser mucho más baja, por consiguiente, las diferenciaciones con la temperatura son irrelevantes. En otros estudios se han observado que, en algunos casos de adsorción fenoles sobre carbones micro porosos, se produce un fenómeno inverso. A pesar de que la adsorción reduce con el incremento de la temperatura, algunos autores han observado que en ciertos casos (adsorción de fenoles sobre carbones muy micro porosos) se produce un fenómeno inverso (Riedl et al., 2008).

- **pH.** El Potencial de Hidrogeno del agua afecta tanto al adsorbente sólido como al adsorbato. Además, los iones hidroxonio e hidronio se adsorben vigorosamente sobre algunos adsorbentes, formándose una competencia con la retención del adsorbato. Inverso (Riedl et al., 2008).

### 4. Bioadsorción

El método de bioadsorción es bastante efectivo y económico para descontaminar metales pesados en el agua, que consta en la adsorción de los iones del metal por biomasa muerta, esta biomasa puede estar sin activar o ser activada (Sala et al., 2010).

### 5. Remoción del Arsénico

Actualmente, las tecnologías utilizadas a nivel internacional para la remoción de arsénico son adsorción sobre alúmina activada, coagulación, electrodiálisis, ósmosis inversa e intercambio iónico (Avilés, Garrido, Nájera, & de la Paz, 2011). En la siguiente *Tabla 2*, se muestran los métodos de remoción del arsénico en el agua.

Tabla 2. *Métodos de remoción de arsénico en el agua*

Técnicas de tratamiento para la remoción de arsénico en agua
Adsorción.
Intercambio iónico
Osmosis inversa
Alúmina activada
Ablandamiento con cal mejorado

Fuente: Adaptado de (Silva, 2017)

## 6. Tatora (*Schoenoplectus californicus*)

Es una planta acuática conocida como Junco o Tatora que se encuentra ubicada en Ecuador, costa peruana y en su mayoría en el Lago Titicaca (Puno), llegando a medir sus tallos de 1 a 3m de altura. Estos al unirse con otras plantas acuáticas representan un medio importante para la ecología del lago Titicaca y los humedales en dicha cuenca andina, así también para la economía de la región (PELT, 2014). Esta especie generalmente son plantas herbáceas, cespitosas, con flores chicas, reducidas y tiene apariencia poco notable (Díaz & Güissa, 2018). Asimismo, presenta tallos subterráneos, siendo en el medio acuático muy adaptable y puede desarrollarse en suelos de humedad permanente y hasta 1 m de profundidad en aguas. Según menciona Fernández (2012), las rizomas de la Tatora cumplen una función importante de fijar sustratos, sirve de soporte, retiene nutrientes e impide la erosión de suelo, de esta manera facilitando el crecimiento de nuevas especies.

Tabla 3. *Taxonomía de la tatora*

Ubicación taxonómica	
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Filo	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Ciperales
Familia	Cyperaceae
Género	Schoenoplectus
Especie	Schoenoplectus californicus
Nombre Común	Junco, tatora

Fuente: (Ecológico, 2007).

### 6.1. Características morfológicas de la tatora

La tatora (*Schoenoplectus californicus*) tiene forma particular como se presenta en los siguientes párrafos:

**Tamaño:** La Tatora se encuentra sumergida aproximadamente una parte bajo el agua y la otra parte se encuentra por encima de la superficie del agua, llegando así a medir hasta 4 m de altura (Ecológico, 2007).

**Tallo:** Tiene tallo erecto, flexible, liso, rollizo, triangular, liviano, similar al césped y en la base no posee tuberosidades (Ecológico, 2007).

**Hojas:** Las hojas de la superior presentan vainas foliares de láminas, mientras la parte más pequeña de la planta muestra vainas foliares carentes de láminas estas hojas rodea al tallo en la base.



**Inflorescencia:** Presenta una inflorescencia ramificada que por un lado es arqueada la parte alta de la planta, debido al desarrollo de brácteas rígidas, y la prolongación del tallo es erecta. Las espigüelas son hermafroditas, ovoides u oblongas y abundantes que presenta una cubierta floral redonda, espiralada, ovalada, con una nervadura media fuerte y con lateral inconspicua y obsoleta (Ecológico, 2007).

**Flores:** Se conoce como hermafroditas a las pequeñas flores de la Tatora como se muestra la *Imagen N° 1*, es decir, se juntan en sí ambos sexos, y la cobertura floral está compuesta por 2 a 6 escamas (Ecológico, 2007).

**Frutos:** Esta planta produce frutos secos aplanados convexos o biconvexos, transversalmente rugosos o lisos, con un pericarpio no unido a ellos. En la *Imagen N° 2*, se muestra el fruto que contiene una sola semilla con forma similar a la lenteja (Ecológico, 2007).



*Imagen N° 1. Flores. Fuente: (Aza, 2016).*



*Imagen N° 2. Partes de la totora: tallo, frutos, Inflorescencia. Fuente: (Aza, 2016).*

## 6.2. Propiedades físicas de la totora

Según el Arquitecto Hidalgo (2007), las propiedades físicas de la totora se detallan de la siguiente manera:

**Densidad:** Tiene un peso de  $180 \text{ kg/m}^3$ , hace referencia a un grupo de totora atada con presión mediana, tal modo que no altere su volumen pero mantenga estable el conjunto (Hidalgo, 2007).

**Absorción:** La totora sin presión, al estar saturada de agua durante 24 horas sumergida, aumenta en promedio cuatro veces su peso seco inicial (Hidalgo, 2007).

**Velocidad de absorción:** la velocidad de absorción general, hasta su estado de saturación, es de 0.3%/minuto y la velocidad inicial de absorción, tomada en los primeros 20 minutos de inmersión, es de 7% de aumento de su peso/minuto (Hidalgo, 2007).

**Velocidad de pérdida de humedad:** La velocidad de secado general hasta su estado seco original, es de 0.13%/minuto y la velocidad inicial de pérdida de peso al secarse, tomada en los primeros 20 minutos, es de 0.3% de pérdida de su peso/minuto (Hidalgo, 2007).

## 6.3. Composición química de la Tatora

El estado de madurez de la totora tiene influencia sobre el contenido de fibra detergente ácido y proteína cruda de la totora, sin dañar la fibra detergente neutro.

Tabla 4. *Composición química*

Composición	Madura (%)	Tierna (%)
Humedad	78.7	82.8
Grasa bruta	1.80	1.50
Fibra detergente neutra	70.7	70.2
Fibra detergente ácido	51.7	44.9
Proteína cruda	6.5	10.5
Ceniza total	9.1	7.2
Carbohidratos no fibrosos	11.9	10.6

*Fuente:* Recuperado de (Avalos, 2015)

Se complementa la información de la composición química con lo siguiente:

Tabla 5. *Composición Química*

Composición	Totora
Hemicelulosa	30.71%
x-celulosa	66.79%
Lignina	27.8 %

*Fuente:* (Hidalgo, 2007)

#### 6.4. Composición mineral de la Totora

El contenido de minerales de la totora es relativamente elevado en ciertos elementos, como el sodio y potasio, seguido de calcio, pero con menor nivel de fósforo. En la *Tabla 6*, se muestra las composiciones minerales tanto microelementos y macroelementos.

Tabla 6. *Composición mineral de la totora*

Microelementos		Macroelementos	
Hierro	950 ppm	Calcio	0.9 %
Cobre	5.5 ppm	Fósforo	0.2 %
Manganeso	97 ppm	Magnesio	0.2 %
Zinc	14.5 ppm	Sodio	2.5 %
Boro	160 ppm	Potasio	5.8 %
SiO <sub>2</sub>	0.8 %	Azufre	0.7 %

*Fuente:* Recuperado de (Avalos, 2015)

#### 6.5. Composición bioquímica de la totora

La siguiente *Tabla 7*, se muestra cinco composiciones bioquímicas de la totora.

Tabla 7. *Composición bioquímica de la totora*

Composición	Porcentaje
Proteínas	6,03%
Fósforo	0,28%
Calcio	0,34%
Yodo	0,78%
Magnesio	0,49%

*Fuente:* Recuperado de (Condori, 2010)

**Con relación al objetivo 1**, el cual consiste en presentar una revisión de estudios sobre la evaluación de eficiencia de remoción del arsénico, con harinas de origen vegetal en filtros por capas. Se hizo una comparación de estudios realizados utilizando diferentes medios filtrantes de origen vegetal como se detallan en la *Tabla 8*.

Tabla 8. Comparación de los diferentes medios filtrantes utilizados para la remoción del arsénico en agua

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Medio filtrante</b>	<b>Ventajas</b>	<b>desventajas</b>
(Caballero, 2012)	Evaluación del uso de la cáscara del banano (MUSA AAA) variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano.	cáscara del banano (MUSA AAA) variedad Williams	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El costo de construcción del filtro es bajo, aproximadamente \$4.10</li> <li>-La construcción del filtro es rápido</li> <li>-No requiere el consumo de energía eléctrica.</li> <li>- El medio filtrante muestra una eficiencia de remoción de As de hasta un 80%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El medio filtrante aporta color al agua filtrada, lo cual afecta su calidad organoléptica.</li> <li>-El tiempo de uso eficiente es corto (28 min).</li> </ul>
(Payán, 2011)	Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia orgánica	Harina de cáscaras de uva, naranja, toronja y mandarina	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Eficiencia de remoción 88%.</li> </ul>	
(Hernández, Rivas, & Ventura, 2017)	Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto ( <i>Moringa oleífera Lam .</i> ) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano	la semilla de Teberinto ( <i>Moringa oleífera Lam .</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>-porcentaje de remoción más alto del arsénico fue de 82.11%</li> </ul>	
(Rivera & Piña, 2000)	Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada	zeolita natural acondicionada	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tratamiento de bajo costo.</li> <li>-Relativamente fácil de operar.</li> <li>-Zeolita natural con propiedades de intercambio catiónico, como excelente soporte de los óxidos.</li> <li>-El medio filtrante puede remover el arsénico hasta 92% en promedio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dificultad en el acondicionamiento de la zeolita con óxidos de hierro</li> </ul>
(Germán, Seuchuc,	Método económico de remoción de arsénico en	Green Sand	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Costo operativo relativamente bajo.</li> <li>- Simplicidad operativa.</li> <li>-Se determinó una vida útil de 6 años.</li> </ul>	

Tonutti, & Costa, 2014)	aguas para comunidades rurales		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remueve el As en altas y bajas concentraciones. Por ende, es eficaz.</li> <li>-No utiliza energía eléctrica.</li> <li>- no requiere desarrollo tecnológico sofisticado</li> <li>-El filtro tiene una eficiencia de remoción hasta 96.3% de arsénico.</li> </ul>
(Estrada, 2016)	Disminución de arsénico mediante un filtro de diatomita del agua de afloramiento subterráneo en el campamento Cedro-Pataz	diatomita	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Eficiencia de remoción 97.43%</li> <li>-Fácil operación y costo relativamente bajo.</li> </ul>
(Leguía & Puma, 2016)	Diseño de filtros de bioarena para remover metales pesados (As, Cd, Cr, Pb y Fe) en aguas de uso doméstico	Bioarena	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estos filtros es escala domiciliar.</li> <li>-Eficiencia de remoción 95%</li> <li>-Fácil operación</li> <li>-Costo relativamente bajo.</li> </ul>

## 7. Propuesta de un filtro con medio filtrante de harina de Totora

Basado en la literatura revisada, se adaptará la harina de Totora a sistemas de filtros existentes. Se buscará aquellos sistemas de bajo costo, gravitacionales y que no requieran energía eléctrica. Se detallan dentro del 7.3 y 7.4, en el *Diagrama 1* e *Imagen N° 4*, respectivamente, esto es **con relación al objetivo 2**, el cual consiste en presentar el diseño de un filtro con medio filtrante la harina de Totora.

### 7.1. Área de Estudio

La construcción de los filtros estará ubicada en el sector Cabracancha, distrito de Coata, región Puno, geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas, (ver *Tabla 9*):

Tabla 9. *Ubicación geográfica*

Zona	Coordenadas UTM		Altitud
	Este	Norte	
19L	396766	8277789	3824 msnm

Fuente: elaboración propia.

Mapa geográfico del área de estudio, sector Cabracancha (ver *Imagen N° 3*).

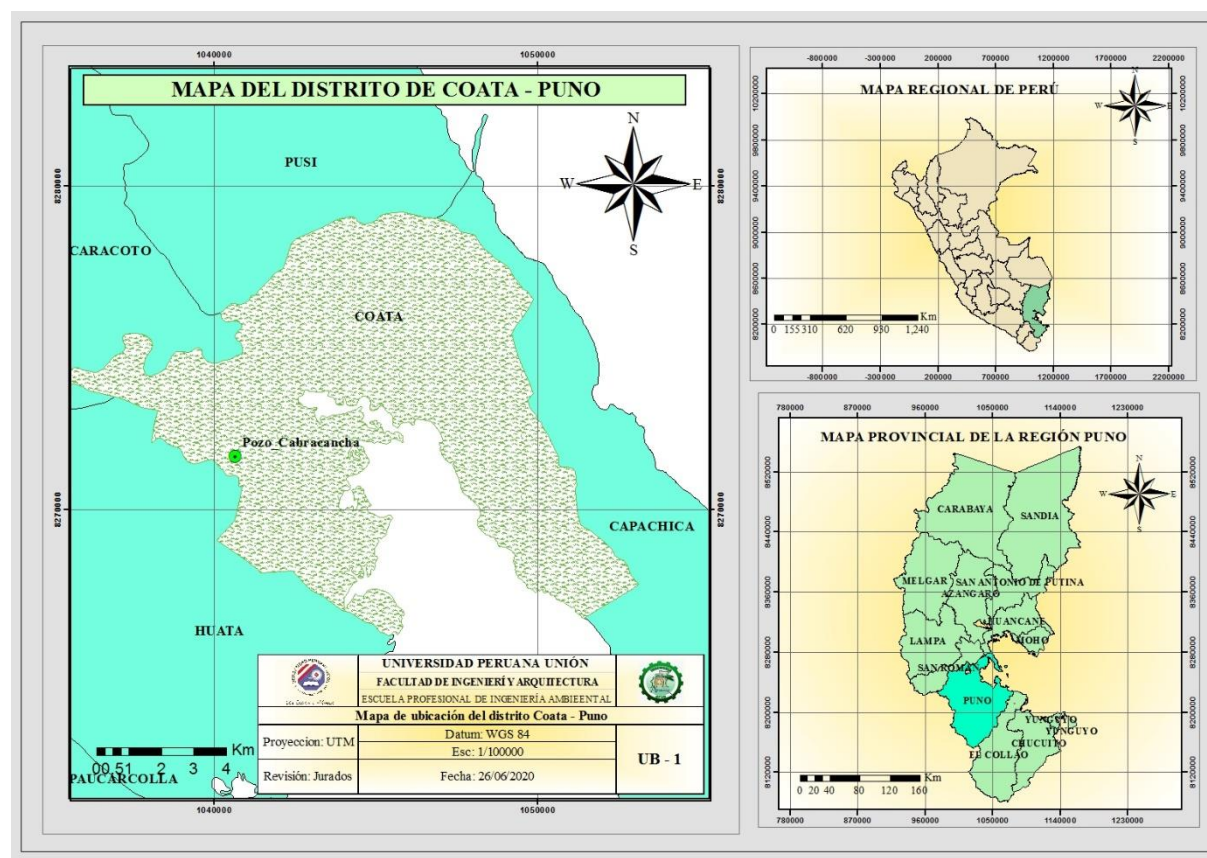


Imagen N° 3. Ubicación geográfica del lugar de estudio (ArGIS 10.3)

Fuente: Elaboración propia

Además, los análisis de aguas subterránea de uso domésticas serán enviados al Laboratorio acreditado por la INACAL “Consultoría & Monitoreo Perú SAC.” ubicado en la ciudad de José Luis Bustamante y Rivero, región Arequipa.

## 7.2. Aspectos Climatológicos en Coata

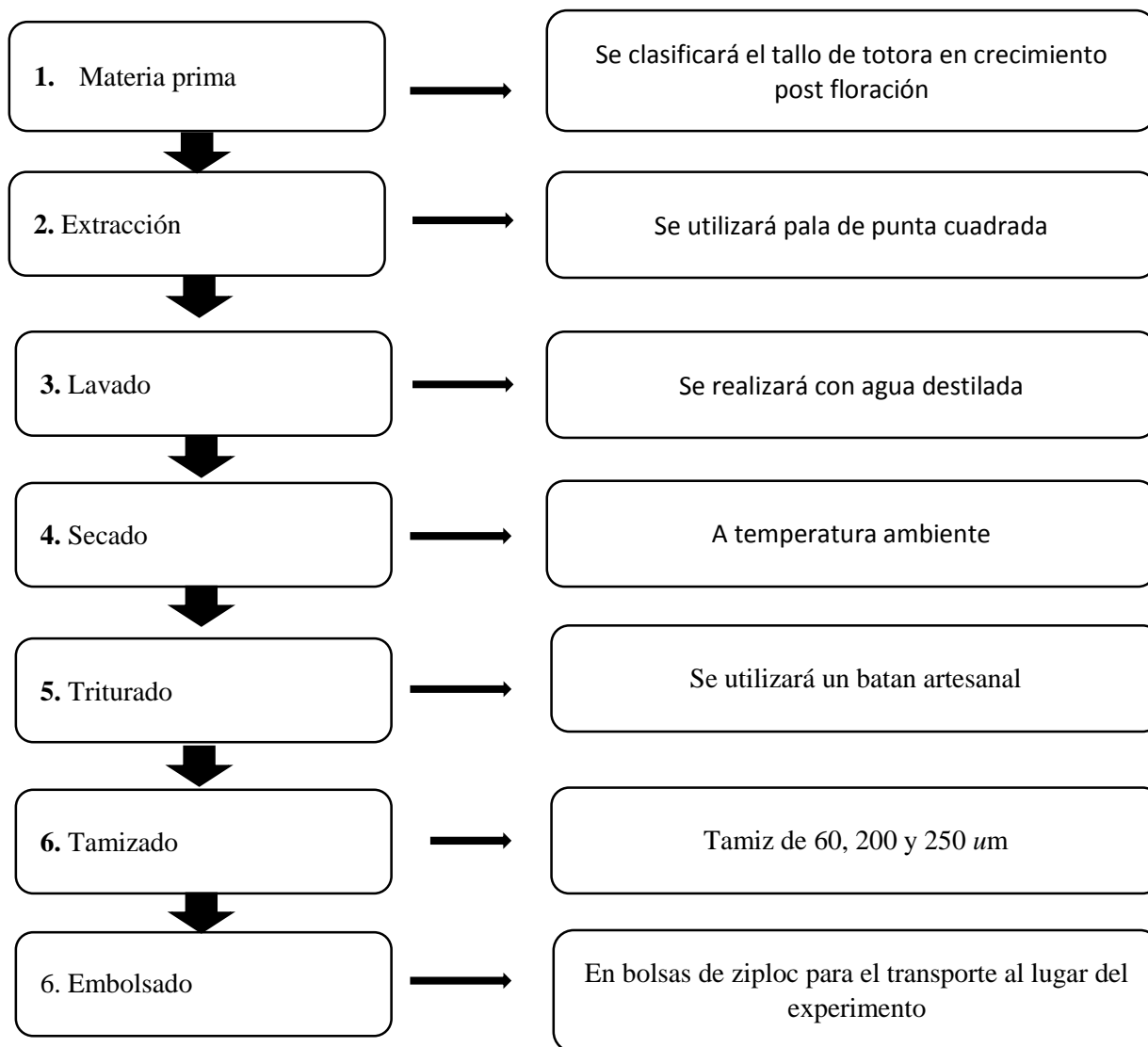
En Coata, los veranos son nublados, frescos y cortos; los inviernos son cortos, muy frío y mayormente despejados y está seco durante todo el año. Durante el año, la temperatura habitualmente varía de  $-4^{\circ}\text{C}$  a  $17^{\circ}\text{C}$  y rara vez sube a más de  $20^{\circ}\text{C}$  o baja a menos de  $-6^{\circ}\text{C}$ . El periodo del año sin lluvia dura aproximadamente 5 meses, de fines de abril hasta mediados de septiembre. La fecha aproximada con la mínima cantidad de lluvia es el 21 de julio, con una acumulación total promedio de 1 mm. El tiempo más calmado del año dura 6 meses aproximadamente, de abril hasta mediados de octubre. El día más calmado del año es el 6 de mayo, con una velocidad promedio del viento de 9,1 km/hr (Spark, 2017).

## 7.3. Materia de estudio y muestreo

La muestra se obtendrá del agua subterránea (pozo) para consumo humano, en el sector Cabracancha del Distrito de Coata, que se ubica a una distancia 1304m desde el río Coata y la construcción, diseño de los filtros se ejecutará en pozo de agua del sector Cabracancha.

La materia prima a utilizar será Totora nativa (*Schoenoplectus californicus*) de la localidad Cabracancha (ver *Diagrama 1*), los materiales complementarios como las grava y arena se tomarán de la playa Chifron, la cual será muestreado y transportado en condiciones adecuados.

*Diagrama 1: Proceso para obtención de harina de totora.*



*Fuente:* Adaptada de (Albarracin, 2014) y (Treelles, 2013).

#### 7.4. Materiales para construir los filtros

Los equipos y materiales utilizados para la construcción de los filtros se ha adaptado de Campos & Porras, (2018), se muestra en la *Tabla 10*.

Tabla 10

***Materiales para la construcción del filtro***

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Especificación</b>
Recipientes circulares de plástico	9 unidades	Volumen: 10 litros y diámetro 30 cm
Grifos de PVC	9 unidades	
Harina de Totorá	200, 300 y 400 gr.	-
Arena fina		0.5-1.0 mm
Grava mediana		¼ pulgadas
Grava gruesa		½ pulgadas
Gasa	-	-

*Fuente:* Elaboración propia



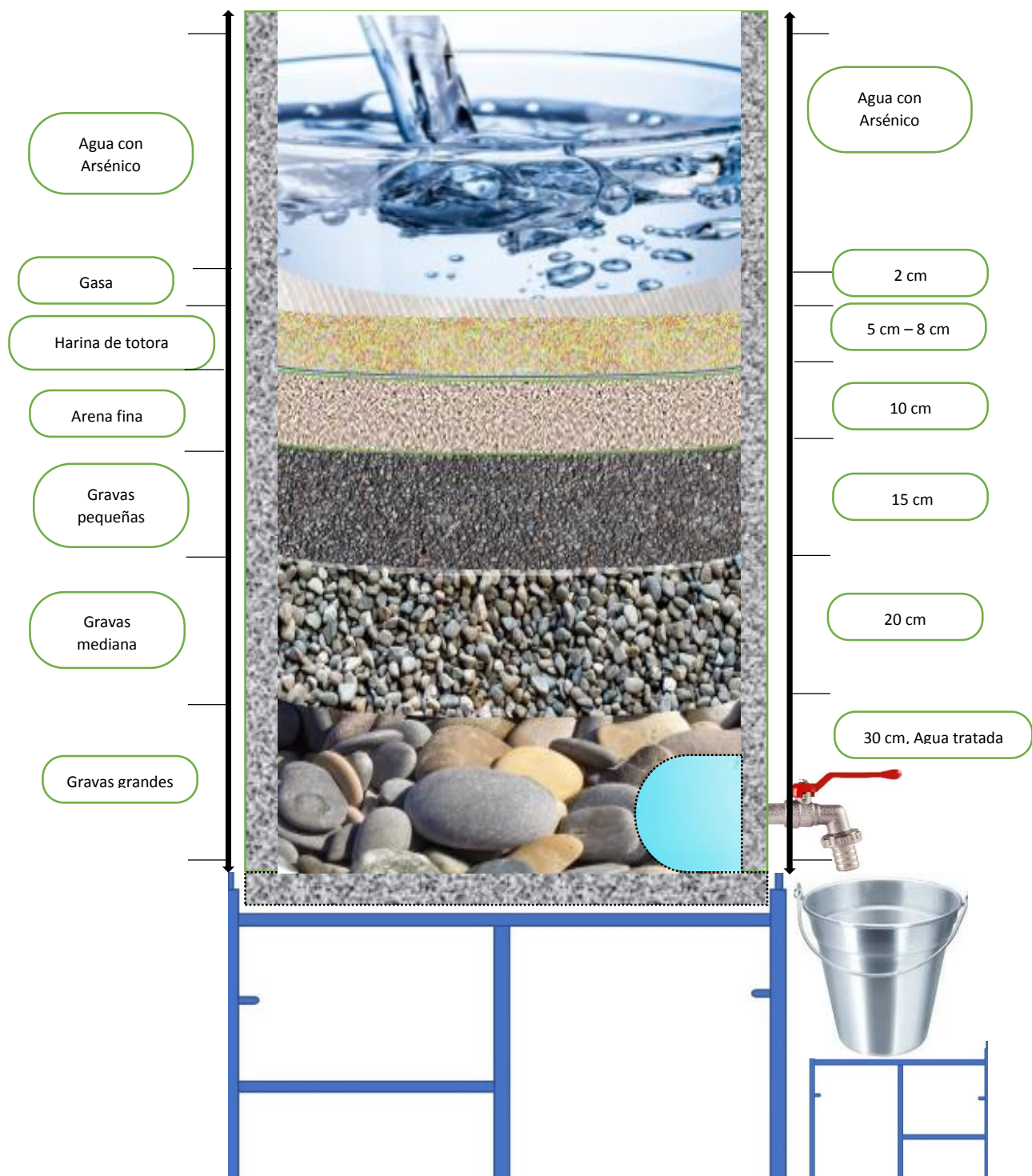


Imagen N° 4. Diseño del filtro adaptado de Campos & Porras, (2018).

Fuente: Elaboración propia

*Nota:* En la imagen N° 5, se observa el filtro por capas y como medio filtrante se colocará la harina de totora. La capa del filtro está diseñada de la siguiente manera:

- Gasa: la gasa ayudara a retener cualquier resto orgánico y/o inorgánico.
- Harina de totora: es el principal medio filtrante, que está diseñado con diferentes cantidades de harina de totora (200, 300 y 400gr.), aproximadamente contendrá de 5cm a 7 cm. Altura
- Arena fina: esta capa contendrá al menos de 10 cm.
- Gravass pequeñas, medianas y grandes: esta capa contendrá de 10 cm, 20 cm y 15 cm de altura.



## Conclusiones

En las investigaciones realizadas por los autores Caballero (2012), Payán (2011) y Hernández et al., (2017); la harina de cáscara de plátano, materia orgánica y la semilla de Teberinto (*Moringa oleífera Lam*) como medio filtrante, respectivamente. Se concluye que remueven en promedio hasta 83.37 % de As en agua.

La aplicación de los filtros con medios filtrantes de biomasa de origen vegetal para la remoción del As, son de fácil operación y bajos costo de aproximadamente \$4.10.

La remoción del As en agua utilizando filtros de biomasa vegetal, por el método de adsorción depende principalmente de factores como el pH y la temperatura.

La harina de totora como medio filtrante, es una nueva propuesta para la remoción de As en agua subterránea en la zona rural de Coata, puesto que es de fácil operación, bajo costo y disponibilidad suficiente del medio filtrante, Además, no se ha encontrado investigaciones respecto a la harina de totora para remoción de As en agua subterránea.

## Referencias

- Abdel-ghani, N. T., Hegazy, A. K., El-chaghab, G. A., & Lima, E. C. (2009). Factorial experimental design for biosorption of iron and zinc using *Typha domingensis* phytomass. *ELSEVIER*, 249(1), 343–347. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2009.02.065>
- Albarracin, F. (2014). *Capacidad de adsorción para remover el ión metálico Pb (II) por el Tanino de la cáscara de Tarwi (Lupinus mutabilis sweet), de las aguas del río Ramis Puno, Perú*. Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/241/EPG695-00695-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ANA. (2020). Resultados de monitoreo participativo de la calidad del agua subterránea por declaratoria de emergencia en los distritos de Coata, Huata, Capachica y Caracoto (monitoreo del 27/12/2019). Retrieved from INFORME TECNICO N° 07-2020-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA, Puno
- Armienta, M. A., Rodriguez, R., Aguayo, A., Cisneros, N., Villaseñor, G., & Cruz, O. (2012). Arsénic Contamination of Grounwater at Zimapán-México. *Revista de Hidrogeología*, 39–46. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s100400050111>
- ATSDR. (2007). Toxicological Profile for Arsenic. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>
- Avalos, L. (2015). *Suplementación de concentrado fibroso con inclusión de heno de Totorá (Schoenoplectus tatora) en la alimentación de vacas lecheras al pastoreo*. Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1823/Avalos\\_Quispe\\_Leonidas.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La composición promedio de la,1979; Gutiérrez, 1991\).](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1823/Avalos_Quispe_Leonidas.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La composición promedio de la,1979; Gutiérrez, 1991).)
- Avilés, M., Garrido, S., Nájera, M., & de la Paz, J. (2011). Remoción de arsénico del agua de consumo humano con filtros de clavos de hierro, fibra comercial, grava y arena. *Revista Aidis de Ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y Práctica*, 4(1), 27–35. Retrieved from [http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1822/OT\\_091.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1822/OT_091.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aza, L. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades*. Universidad Politecnica de Calalunya. Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88419/LEYDA\\_AZA\\_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88419/LEYDA_AZA_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bundschuh, J., Carrera, A., & Litter, M. (2008). *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Marta\\_Litter/publication/258702251\\_Distribucion\\_del\\_arsenico\\_en\\_las\\_regiones\\_Iberica\\_e\\_Iberoamericana/links/00b4952b1fbb7dc223000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marta_Litter/publication/258702251_Distribucion_del_arsenico_en_las_regiones_Iberica_e_Iberoamericana/links/00b4952b1fbb7dc223000000.pdf)
- Caballero, V. (2012). *Evaluación del uso de la cáscara del banano (Musa AAA) variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Campos, H., & Porras, J. (2018). *Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (Musa*

spp) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín. Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto-Universidad Nacional de San Martín.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO. Retrieved from

[http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3287/SANITARIA - Harley Smith Campos Pardo & Josué Jhonatan Porras Becerra.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3287/SANITARIA-Harley-Smith-Campos-Pardo-Josue-Jhonatan-Porras-Becerra.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CFCE. (2017). La importancia de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos: aplicaciones prácticas en proyectos de cooperación internacional para el desarrollo. Retrieved from [https://intercoonecta.aecid.es/Gestin del conocimiento/relatoria\\_igme\\_web.pdf](https://intercoonecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/relatoria_igme_web.pdf)

Condori, D. (2010). *Evaluación de las propiedades físicas químicas y ópticas del papel tipo Glassine obtenido a partir de fibras de Totorá (Schoenoplectus tatora)*. Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3365/Condori\\_Quispe\\_David.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3365/Condori_Quispe_David.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Dąbrowski, A. (2001). Adsorption □ from theory to practice. *ELSEVIER*, 135–224. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(00\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(00)00082-8)

Díaz, J., & Güissa, M. (2018). *PARÁMETROS CINÉTICOS DE FITOBIORREACTORES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON Schoenoplectus californicus (TOTORA) – DISTRITO CAJAMARCA*. UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO. Retrieved from <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/731/TESIS-FITORREMEDIACI%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ecológico, P. (2007). TOTORA (*Scirpus californicus*). Retrieved from [http://www.peruecologico.com.pe/flo\\_totora\\_2.htm](http://www.peruecologico.com.pe/flo_totora_2.htm)

Estrada, D. (2016). *Disminución de arsénico mediante un filtro de diatomita del agua de afloramiento subterráneo en el campamento Cedro-Pataz*. Universidad César Vallejo. Retrieved from <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/6790>

Fernández, J. (2012). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. (J. Fernández, Ed.). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.. Retrieved from [https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos Manual/Cap%EDtulos 1 a 2.pdf](https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulosManual/Cap%EDtulos1a2.pdf)

Galindo, D. G., Luis, J., & Turiel, F. (2005). Arsénico en aguas : origen , movilidad y tratamiento. *II SEMINARIO HISPANO-LATINOAMERICANO SOBRE TEMAS ACTUALES DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA IV*. Retrieved from [https://digital.csic.es/bitstream/10261/4019/1/Galindo\\_et\\_al-Arsenico-2005.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/4019/1/Galindo_et_al-Arsenico-2005.pdf)

García, S. (2013). *Estudios de especiación de arsénico y acumulación de metales en muestras de interés medioambiental*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from [http://oa.upm.es/15311/1/SARA\\_GARCIA\\_SALGADO.pdf](http://oa.upm.es/15311/1/SARA_GARCIA_SALGADO.pdf)

Germán, R., Seuchuc, M., Tonutti, F., & Costa, G. (2014). Método económico de remoción de arsénico en aguas para comunidades rurales. *Revista Aidis de Ingeniería Y Ciencias Ambientales*,

- Desarrollo Y Práctica*, 7(3), 228–242. Retrieved from <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46818/42203>
- Graziano, A. (2013). El agua, un derecho humano. Retrieved from <http://dspace.mides.gub.uy:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1819/DESC+A - 24 - El agua, un derecho humano.pdf?sequence=1>
- Hernández, M., Rivas, H., & Ventura, G. (2017). *Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto ( Moringa oleífera Lam .) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano*. Universidad de El Salvador. Retrieved from <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14844/1/13101646.pdf>
- Hidalgo, J. (2007). *Aprovechamiento de la Totora como Material de Construcción*. UNIVERSIDAD DE CUENCA-FACULTAD DE ARQUITECTURA. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6180>
- Hiura, H., Miyazaki, H., & Kazuhito Tsukagoshi. (2010). Determination of the Number of Graphene Layers: Discrete Distribution of the Secondary Electron Intensity Stemming from Individual Graphene Layers. *IOPscience*, 095101. <http://doi.org/10.1143/APEX.3.095101>
- INDECI. (2019). Informe que sustenta la necesidad de la Declaratoria de Estado de Emergencia por peligro Inminente. INFORME TECNICO N° 00069-2019-INDECI/11.0. Retrieved from <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/05/Inf.-Tec.-069-2019-INDECI-DEE-distritos-Puno-peligro-inminente.pdf>
- Jain, C. K., & Ali, I. (2000). Arsenic : occurrence , toxicity and speciation techniques. *Elsevier Science*, 34(17), 4304–4312. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00182-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00182-2)
- Leguía, J., & Puma, P. (2016). *Diseño de filtros de bioarena para remover metales pesados (As, Cd, Cr, Pb y Fe) en aguas de uso doméstico*. Universidad Nacional de San Agustín. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1893>
- Mandal, B. K., & Suzuki, K. T. (2002). Arsenic round the world : a review. *ELSEVIER*, 58, 201–235. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00268-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00268-0)
- MINEM. (1994). Guía ambiental de manejo y transporte de concentrados minerales. Retrieved from <http://www.ingenieroambiental.com/4014/compendio-transporte.pdf>
- Ngai, T. K. K., Murcott, S., Shrestha, R. R., Dangol, B., & Maharjan, M. (2006). Development and dissemination of Kanchan e Arsenic Filter in rural Nepal. *Water Sciencie & Technology*, 5(3), 137–146. <http://doi.org/10.2166/ws.2006.807>
- OMS. (2004). La OMS publica una revisión de las guías para la calidad del agua potable con el fin de prevenir brotes epidémicos y enfermedades relacionados con el agua. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2004/pr67/es/index1.html>
- OMS. (2014). Exposición al arsénico en el agua potable: una gran amenaza inadvertida para la salud en Perú. Retrieved from <https://www.who.int/bulletin/volumes/92/8/13-128496-ab/es/>
- Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal, F., & Alfayate Blanco, J. M. (2011). Contaminación Ambiental, una visión desde la química. Retrieved

from <http://blogcdam.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2012/03/Contaminación-ambiental-origen-clases-fuentes-y-efectos.pdf>

- Paredes, A. (2011). *Estudio de la adsorción de compuestos aromáticos mediante carbón activado preparado a partir de la cáscara de Castaña*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/827/ADSORCION\\_COMPUESTOS\\_AROMATICOS\\_CARBON\\_ACTIVADO\\_PAREDES\\_DOIG\\_ANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/827/ADSORCION_COMPUESTOS_AROMATICOS_CARBON_ACTIVADO_PAREDES_DOIG_ANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Payán, S. (2011). *Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia orgánica*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Retrieved from <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/583/1/Tesis Sergio Arturo Payán Gómez.pdf>
- Rao, C. N. R., Sood, A. K., Subrahmanyam, K. S., & Govindaraj, A. (2009). Graphene : The New Two-Dimensional Nanomaterial Angewandte. *Angewandte Chemie*, 7752–7777. <http://doi.org/10.1002/anie.200901678>
- Riedl, C., Zakharov, A. A., Starke, U., Riedl, C., Zakharov, A. A., & Starke, U. (2008). Precise in situ thickness analysis of epitaxial graphene layers on SiC ( 0001 ) using low-energy electron diffraction and angle resolved ultraviolet photoelectron spectroscopy Precise in situ thickness analysis of epitaxial graphene layers on SiC „ 0001 .... *Applied Physics Letters*, 033106(0001), 10–13. <http://doi.org/10.1063/1.2960341>
- Rivera, M. de L., & Piña, M. (2000). Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre Zeolita natural acondicionada. *Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua*, 1–11. Retrieved from <http://www.zeocat.es/docs/aguaarsenico2.pdf>
- Sala, L. F., García, S. I., González, J. C., Frascaroli, M. I., Bellú, S., Mangiameli, F., ... Peregrin, S. (2010). Química y Medio Ambiente Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Química Y Medio Ambiente*, 114–120. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3235861>
- Silva, J. (2017). *Producción y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales (fibra de Nopal) para la remoción de arsénico en agua*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Retrieved from <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22915>
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source , behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17, 517–568. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.563.7185&rep=rep1&type=pdf>
- Spark, W. (2017). El clima promedio en Coata. Retrieved from <https://es.weatherspark.com/y/27072/Clima-promedio-en-Coata-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>
- Trelles, J. (2013). *Bioadsorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas inertes*. Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved from [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1152/1/trelles\\_bj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1152/1/trelles_bj.pdf)

UNESCO. (2019). El agua subterránea en un medio ambiente cambiante. Retrieved from <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/agua-subterranea>

Verma, V. K., Tewari, S., & Rai, J. P. N. (2008). Ion exchange during heavy metal bio-sorption from aqueous solution by dried biomass of macrophytes. *ELSEVIER*, 99, 1932–1938.  
<http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.042>